ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DES RÉSIDUS D'HEXAZINONE DANS L'ENVIRONNEMENT, SUITE À DES TRAVAUX DE PRÉPARATION DE TERRAIN EN MILIEU FORESTIER, 1986.

Québec

88-01872/

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DES RÉSIDUS D'HEXAZINONE DANS L'ENVIRONNEMENT, SUITE A DES TRAVAUX DE PRÉPARATION DE TERRAIN EN MILIEU FORESTIER, 1986

Jean Legris, biol.
Gisèle Couture, techn. de la faune

Service des études environnementales

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Direction de la conservation

Québec, novembre 1987

© Gouvernement du Québec
Dépôt légal - 4e trimestre 1987
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-18194-8
No publication 3317

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes du ministère de l'Energie et des Resources pour leur collaboration à la réalisation de cette étude.

Service des études environnementales:

Michel Carmichael, tech. de laboratoire

Sylvie Delisle, tech. de la faune

Gilles Gaboury, biologiste, Chef du service

Luc Laberge, biologiste

Guy Mamarbachi, chimiste

Nicole Nadeau, tech. de laboratoire

Simone Roy, secrétaire

Unité de gestion La Vérendrye et Haute-Gatineau:

Michel Grondin, tech. forestier

François Laplante, tech. forestier

Paul Lauriault, garde forestier

ERRATUM

À la page 6, dernière ligne: Vous devriez lire "Le Bracke[MD] relié au transporteur traversa la mare dans ..."

RÉSUMÉ

En 1986, lors de travaux de préparation de terrain avant plantation, le ministère de l'Énergie et des Ressources a utilisé à titre expérimental un nouveau phytocide couplé à un mode de scarification reconnu. Ainsi, de l'hexazinone (Velpar L[MD]) était utilisé en combinaison avec un scarificateur à poquets de type Bracke[MD].

Le Service des études environnementales du Ministère entreprenait une étude préliminaire des résidus de ce phytocide dans l'environnement. L'eau en milieux lotique et lentique, les sédiments en milieu lentique et le sol ont été échantillonnés afin d'évaluer sommairement le comportement (mobilité et persistance) du produit en milieu forestier québécois. Ce suivi a eu lieu sur un territoire localisé dans l'Outaouais.

Deux ruisseaux ont été échantillonnés et la concentration maximale de résidus d'hexazinone retrouvés a été de 15,2 µg/l d'eau, lors d'un suivi échelonné sur 18 jours après le traitement. Une bande de protection de 60 m était respectée le long des cours d'eau. L'analyse de 8 échantillons, dans une mare avec écoulement, a révélé une concentration maximale de 820 µg/l trois heures après une application directe. Ce suivi, échelonné sur 69 heures après le traitement présentait une concentration finale de 64,8 µg/l. Dans les sédiments de cette mare, la valeur maximale retrouvée a été de 0,172 µg/g (poids sec) après 21 semaines. Dans le sol, des résidus maxima d'hexazinone de 17,4 µg/g (poids sec) ont été détectés dans les zones non-scarifiées (entre les lignées de poquets), et ce pour la strate 0-10 cm, une journée après le traitement. À 21 semaines, la quantité maximale de résidus a atteint 1,67 µg/g.

Ces résultats préliminaires ont permis d'élaborer un programme de suivi environnemental plus complet de l'hexazinone lorsqu'appliqué avec cette technique.

Mots-clés : hexazinone, résidus, eau, sol, sédiments, suivi environnemental.

LEGRIS, J. et G. COUTURE, 1987. Etude préliminaire des résidus d'hexazinone dans l'environnement, suite à des travaux de préparation de terrain en milieu forestier, 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, No. 3317, 33 p.

ABSTRACT

In 1986, while preparing land for planting, the ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) conducted experiments with a new phytocide in combination with a known scarification method. Hexazinone (Velpar^{R}) was used with a Bracke^{R} scarifier.

The Service des études environnementales of the MER undertook a preliminary study on residues from this phytocide in the environment. Water in both lentic and lotic environments, sediments in a lentic environment, and the soil were sampled to briefly assess the behavior (mobility and persistence) of the product in a Quebec forest environment. This monitoring took place on land located in the Outaouais region.

Two brooks were sampled and the highest concentration of hexazinone residues recovered was 15.2 µg/l of water, during a monitoring period of 18 days following treatment. A 60-meter protective strip was respected along the streams. The analysis of 8 samples from a pond with runoff revealed a maximum concentration of 820 µg/l three hours after direct application. This monitoring, spread over 69 hours following treatment, showed a final concentration of 64.8 µg/l. In the sediments from this pond, the greatest value found was 0.172 µg/g (dry weight) after 21 weeks. In the soil, maximum hexazinone residues of 17.4 µg/g (dry weight) were detected in non-scarified zones (between rows of patches) for the 0-10 cm layer, one day following treatment. After 21 weeks, the largest quantity of residues was 1.67 µg/g.

These preliminary results have led to the development of a more complete environmental monitoring program for hexazinone when applied with this method.

Key words : hexazinone, residues, water, soil, sediments, environmental monitoring.

LEGRIS, J. and G. COUTURE, 1987. Étude préliminaire des résidus d'hexazinone dans l'environnement, suite à des travaux de préparation de terrain en milieu forestier, 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des études environnementales, No 3317, 33 pages.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS iii

RÉSUMÉ v

ABSTRACT vii

TABLE DES MATIÈRES ix

LISTE DES TABLEAUX xi

LISTE DES FIGURES xi

INTRODUCTION 1

1. LE PROGRAMME DE PRÉPARATION DE TERRAIN 3

    1.1 Description du site traité 3
    1.2 Produit et technique d'application 3

2. DESCRIPTION DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE 5

    2.1 Le milieu lotique 5
    2.2 Le milieu lentique 6
    2.3 Le sol forestier 7

3. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE 9

    3.1 Description de l'échantillonnage 9
        3.1.1 Le milieu lotique 9
        3.1.2 Le milieu lentique 10
        3.1.3 Les sédiments en milieu lentique 10
        3.1.4 Le sol forestier 10
    3.2 Technique de prélèvement 11
        3.2.1 Échantillonnage de l'eau 12
        3.2.2 Échantillonnage des sédiments 12
        3.2.3 Échantillonnage du sol forestier 12
    3.3 Technique d'analyse 13
        3.3.1 Description de la technique d'analyse 13
        3.3.2 Validation de la technique d'analyse 14

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION 17

4.1 Comportement de l'hexazinone dans l'eau en milieu lotique 17
4.2 Comportement de l'hexazinone dans l'eau en milieu lentique 20
4.3 Comportement de l'hexazinone dans les sédiments en milieu lentique 22
4.4 Comportement de l'hexazinone dans le sol 23
4.4.1 Les zones non-scarifiées 25
4.4.2 Les zones à poquets..... 26
4.5 Synthèse des recommandations pour les échantillonnages ultérieurs 29

CONCLUSION 31

BIBLIOGRAPHIE 33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Récupération de l'hexazinone dans l'eau et le sol..... 15

Tableau 2 : Concentrations d'hexazinone dans l'eau en milieu lotique, 1986 18

Tableau 3 : Concentrations d'hexazinone dans l'eau en milieu lentique, 1986 21

Tableau 4 : Résidus d'hexazinone dans les sédiments en milieu lentique, 1986 23

Tableau 5 : Résidus d'hexazinone en µg/g de poids sec dans les zones non scarifiées, 1986 24

Tableau 6 : Résidus d'hexazinone en µg/g de poids sec dans les zones à poquets, 1986 27

Tableau 7 : Synthèse des recommandations pour les échantillonnages ultérieurs 30

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des superficies traitées et des stations d'échantillonnage en milieux lotique, lentique et dans le sol forestier, 1986 5

Figure 2 : Répartition des échantillons composites dans le sol forestier après deux passages du Bracke[MD] 11

Figure 3 : Concentrations d'hexazinone dans l'eau en milieu lotique (ruisseau #2), 1986 19

Figure 4 : Concentrations d'hexazinone dans l'eau en milieu lentique, 1986 22

Figure 5 : Résidus d'hexazinone dans le sol forestier des zones non-scarifiées, 1986 26

Figure 6 : Résidus d'hexazinone dans le sol forestier des zones à poquets, 1986 28

INTRODUCTION

Le ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) effectue différents travaux de préparation de terrain avant d'entreprendre le reboisement des terres publiques. En 1986, afin d'améliorer l'efficacité de ces travaux, le MER utilisait à titre expérimental, un nouveau phytocide couplé à un mode de scarification reconnu. Ainsi, le Velpar L[MD] (ingrédient actif : hexazinone) était utilisé en combinaison avec un scarificateur à poquets de type Bracke[MD]. Ces travaux avaient lieu dans l'Outaouais.

Lors de ces travaux de préparation de terrain, le Service des études environnementales du Ministère entreprenait une étude préliminaire des résidus de ce phytocide dans l'environnement. Cette étude devait permettre une première quantification des niveaux de résidus susceptibles de se retrouver dans les diverses composantes du milieu. L'eau en milieux lotique et lentique, les sédiments en milieu lentique et le sol étaient échantillonnés afin d'évaluer sommairement le comportement (mobilité et persistance) du produit en milieu forestier québécois. Une bande de protection de 60 mètres le long des cours d'eau permanents était respectée au cours de ces travaux.

Un programme de suivi environnemental de l'hexazinone a été élaboré en tenant compte des résultats préliminaires obtenus et pourra être appliqué si le Ministère poursuit l'utilisation de l'hexazinone lorsqu'appliqué avec cette technique.

1. LE PROGRAMME DE PRÉPARATION DE TERRAIN

Le scarificateur à poquet de type Bracke[MD] a déjà fait ses preuves au Québec depuis plus de dix ans lors des travaux de préparation de terrain réalisés par le MER. La modification du Bracke[MD] permettant l'application simultanée d'un phytocide est toutefois très récente. En 1986, le MER retenait une superficie de près de 250 ha pour l'expérimentation du Bracke[MD] combiné à l'utilisation du Velpar L[MD]. Ces travaux étaient exécutés dans l'unité de gestion La Vérendrye et Haute-Gatineau dans la région administrative de l'Outaouais.

1.1 Description du site traité

Le projet (no 752-86-195) était situé près du lac Kippax, à l'extrémité Est du parc Lavérendrye, dans le Sud-Ouest de la province de Québec. Il comportait une superficie totale d'environ 250 hectares, subdivisée en plusieurs blocs de moins de 15 hectares chacun. Des coupes forestières ont été effectuées dans ce secteur en 1979 et 1980. La régénération en feuillus intolérants atteignait parfois près de trois mètres de hauteur lors du traitement. La compétition était principalement composée de Cerisiers de Pennsylvanie (Prunus pensylvanica L.f.), de Bouleaux à papier (Betula papyrifera Marsh.), d'Aulnes rugueux (Alnus rugosa (Du Roi) Spreng.) et de Framboisiers (Rubus idaeus L.).

1.2 Produit et technique d'application

Le Velpar L[MD], forme liquide fabriquée par Du Pont Canada Inc., a été utilisé. L'ingrédient actif (i.a.) de ce produit est l'hexazinone et le produit en contient 240 grammes par litre. La dose théorique d'application était de 3 600 g.i.a./ha soit 15 l/ha de produit. La bouillie, constituée d'une portion de produit pour 5 portions d'eau, était appliquée à un dosage de 95 l/ha.

Mentionnons que le Velpar L[MD] est utilisé habituellement pour le contrôle des herbacées et des plantes ligneuses. C'est un phytocide qui peut être absorbé par le feuillage mais aussi par les racines. Cette dernière propriété du

produit permet un effet résiduel. Il serait un inhibiteur de la photosynthèse (U.S. Department of Agriculture. Forest Service, 1984).

La technique d'application utilisée dans ce projet favorisait l'absorption du produit par le système racinaire à la suite d'un traitement en pré-émergence de la végétation. Le système d'application couplé au Bracke[MD] comportait trois buses dirigées vers le sol. Celles-ci étaient orientées de façon à appliquer un jet de phytocide entre les lignées de poquets (zones scarifiées). On doit noter que la buse centrale avait un débit deux fois plus important que les buses latérales. La pompe alimentant les buses était reliée directement à l'essieu du châssis de l'appareil interrompant ainsi l'arrosage du produit lorsque la machinerie était immobilisée.

Les travaux ont été exécutés entre le 22 mai et le 26 juin 1986. Des problèmes de cristallisation du produit, occasionnés par de basses températures, ont nécessité l'ajout d'un solvant (alcool butylique) les 5, 13, 14, et 16 juin. Ce solvant était ajouté à raison d'un litre par 25 litres d'eau. Un peu plus de 20 hectares ont été traités lors de ces périodes. Les travaux dans les secteurs reliés directement à la présente étude se sont déroulés du 29 mai au 16 juin.

2. DESCRIPTION DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

2.1 Le milieu lotique

Lors de cette étude préliminaire, nous avons échantillonné deux ruisseaux, situés à proximité des zones traitées. Le premier ruisseau sélectionné (ruisseau #1) pouvait drainer une superficie traitée à l'hexazinone sur près de 20 hectares. Il se trouvait généralement à plus de 100 mètres des blocs traités (figure 1).

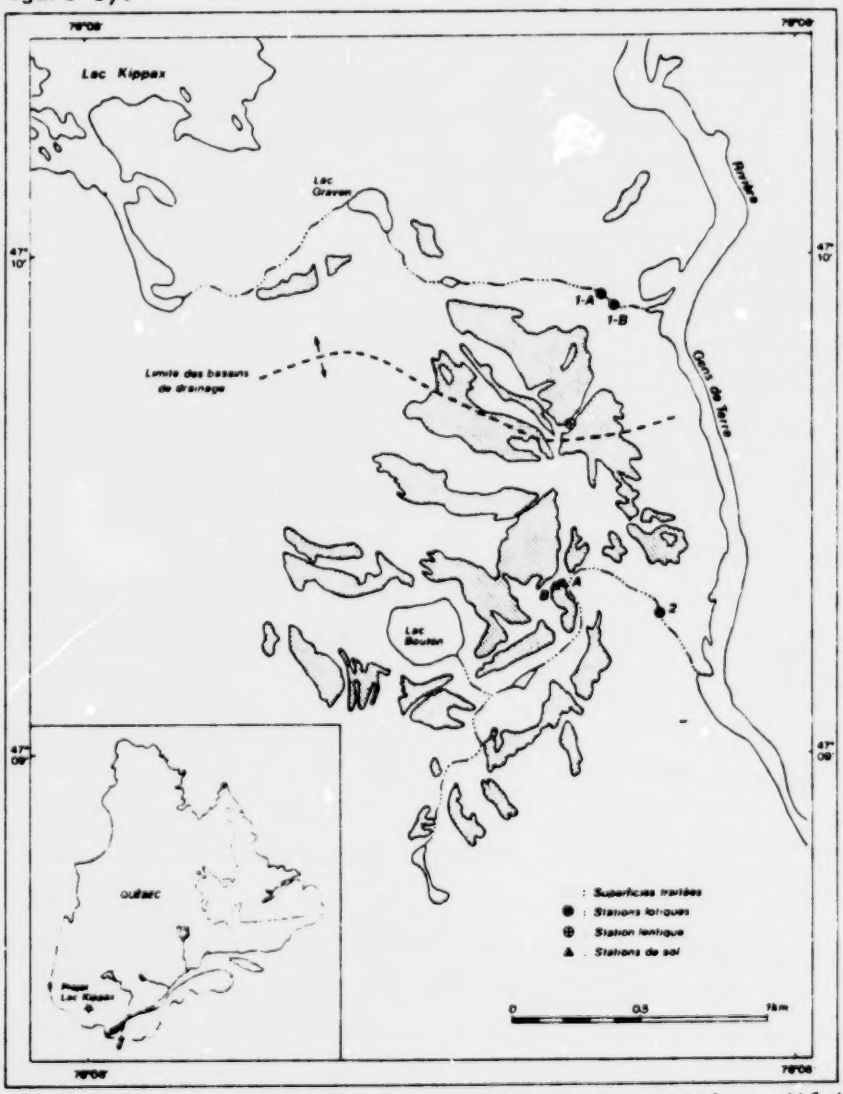

Figure 1. Localisation des superficies traitées et des stations d'échantillonnage en milieux lotique, lentique et dans le sol forestier, 1986

Le dernier kilomètre du ruisseau était la section la plus susceptible de recevoir la majorité des eaux de ruissellement venant des superficies traitées. Nous avons établi deux stations (1-A et 1-B) 300 et 200 mètres en amont de l'embouchure du ruisseau près de la rivière Gens de Terre. La station 1-A, considérée à 0 km en aval des blocs traités, était localisée en bordure d'un chemin forestier. Le débit du cours d'eau était d'environ 0,2m^3/sec avec une profondeur moyenne de 30 cm au moment de l'échantillonnage. La station 1-B, située 100 mètres en aval de la première, avait un débit semblable et une profondeur moyenne de 10 cm. Il a été impossible de placer cette station plus en aval puisque les derniers 200 mètres du ruisseau présentaient de nombreux méandres et la vitesse du courant y était pratiquement nulle. Une bande de conifères matures, laissée intacte lors de la coupe, bordait le ruisseau tout le long de son parcours.

Nous avons également échantillonné un deuxième ruisseau (ruisseau #2) susceptible de drainer 55 hectares traités. Une seule station a été établie sur ce cours d'eau immédiatement en aval des travaux. Au début de la période d'échantillonnage, la profondeur moyenne de l'eau était de 15 cm avec une largeur moyenne de 2,5 m pour un débit de 0,3 m^3/sec. Plusieurs blocs traités se retrouvaient le long du cours d'eau.

Une bande de protection de 60 m devait être laissée intacte aux abords de tout cours d'eau à étiage permanent. Par contre, dans plusieurs cas, les blocs traités étaient localisés à plus de 60 m des cours d'eau, particulièrement au ruisseau #1.

2.2 Le milieu lentique

Localisée en bordure d'un bloc traité, une mare d'une superficie de près de 100 m^2 et d'une profondeur moyenne de 25 cm a été échantillonnée. Un mince filet d'eau s'écoulait de l'une de ses extrémités lorsque le niveau de l'eau s'élevait. La mare était séparée d'un ancien chemin forestier par une lisière d'Aulnes qui se prolongeait sur la moitié de son périmètre. Des Framboisiers et quelques Bouleaux complétaient le reste du pourtour. Le Bracke^{MD} relié au

l'axe de la longueur, soit sur près de 11 mètres. Des déchets de coupe étaient présents dans la mare et de la matière organique en recouvrait partiellement le fond. Notons qu'habituellement, les mares présentes dans les blocs traités, sont contournées lors des travaux.

2.3 Le sol forestier

Nous avons établi deux sites d'échantillonnage du sol (stations A et B) dans un bloc traité d'une superficie de 1,3 ha (figure 1). La texture du sol correspondait à un sable loameux. À la station A, le sol minéral était recouvert d'une couche de matière organique variant de 0 à 5 cm d'épaisseur. Cette station était localisée sur un mi-versant et présentait un drainage moyen. Une strate arborescente de près de quatre mètres composée principalement de Cerisiers de Pennsylvanie représentait 5% de la végétation compétitive. La strate arbustive, composée de Framboisiers, recouvrait 10% de la station alors que la strate herbacée couvrait 60% de la surface du sol. Les Verges d'or (*Solidago sp.*) et les Asters à grandes feuilles (*Aster macrophyllus*, L.) dominaient cette strate.

La station B, située à une cinquantaine de mètres de la station A, était localisée dans un secteur plutôt plat et humide. L'épaisseur de la couche d'humus variait de 5 à 15 cm. La couverture totale de la végétation représentait 80% et était constituée de Cerisiers et Bouleaux d'une hauteur de 2 à 4 m (15%) et de Framboisiers de près de 1 m (65%).

3. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

3.1 Description de l'échantillonnage

3.1.1 Le milieu lotique

Théoriquement, un suivi de 72 heures était prévu et devait débuter lorsque plus de la moitié de la superficie se drainant vers un ruisseau avait été traitée. Des échantillons devaient être prélevés aux douze heures à des stations situées à 0 et 1 km de la limite des projets pour chacun des deux ruisseaux sélectionnés.

Les superficies susceptibles de se drainer dans le ruisseau #1 ont été traitées les 29 mai, 2, 3, 4 et 10 juin. Des problèmes techniques reliés à la cristallisation du produit ont empêché le déroulement continu des travaux. Le 10 juin près de 20 hectares étaient traités et l'échantillonnage s'est déroulé les 11, 12 et 13 juin à raison de deux échantillons par jour, l'un au début et l'autre à la fin de la journée de travail. La configuration des superficies traitées ne nous a pas permis d'établir une station d'échantillonnage à 1 km. Seules deux stations distantes de 100 m ont pu être positionnées en aval des zones arrosées sur le ruisseau #1.

Plusieurs petits blocs traités totalisant 55 ha, étaient localisés dans le bassin de drainage du ruisseau #2. Ces superficies ont fait l'objet d'un traitement le 5 juin et du 9 au 16 juin inclusivement. Exceptionnellement, l'échantillonnage a été effectué par un membre de l'équipe de travail assignée aux arrosages. Celui-ci a prélevé un échantillon par jour, à la fin de chaque journée de travail, pendant près de trois semaines. L'échantillonnage s'est échelonné du 15 au 21 juin, du 25 au 27 juin inclusivement et les 2 et 3 juillet. Quarante-cinq hectares étaient traités lorsque débuta l'échantillonnage. Le 16 juin, on a traité dix hectares supplémentaires, à la tête du bassin de drainage.

3.1.2 Le milieu lentique

La mare échantillonnée a été traitée le 10 juin par un passage du Bracke^{MD} dans celle-ci afin d'obtenir une contamination maximale d'un plan d'eau. La séquence d'échantillonnage prévue était 1, 12, 24, 36, 48, 60 et 72 hres après traitement. Pour des raisons d'ordre logistique, les échantillons ont été prélevés au début et à la fin de chaque journée de travail composant ainsi une nouvelle séquence: 3, 16, 25, 39, 51, 63, 69 hres après traitement. Un échantillon témoin a été prélevé avant le passage de l'appareil dans la mare.

3.1.3 Les sédiments en milieu lentique

Nous avons prélevé des sédiments dans la mare décrite précédemment. Les échantillons ont été récoltés 69 heures puis 8 et 21 semaines après l'application afin d'évaluer sommairement le comportement du produit dans ce substrat.

3.1.4 Le sol forestier

Le phytocide était appliqué par jets entre les lignées de poquets et deux types d'échantillons ont été recueillis : dans les poquets (zones où la couche organique a été retirée) et entre les sillons de poquets (zones non-scarifiées où le phytocide a été appliqué). Des échantillons composites formés de 8 prélèvements répartis sur deux passages du Bracke^{MD} furent recueillis dans les deux cas (figure 2). On prélevait des carottes de 20 centimètres et celles-ci étaient fractionnées selon les strates 0-10 cm et 10-20 cm.

Nous avons échantillonné le sol forestier 1 jour, 2 mois et un peu plus de 5 mois après l'arrosage. Cette séquence devait nous permettre d'évaluer succinctement le comportement du produit dans ce substrat.

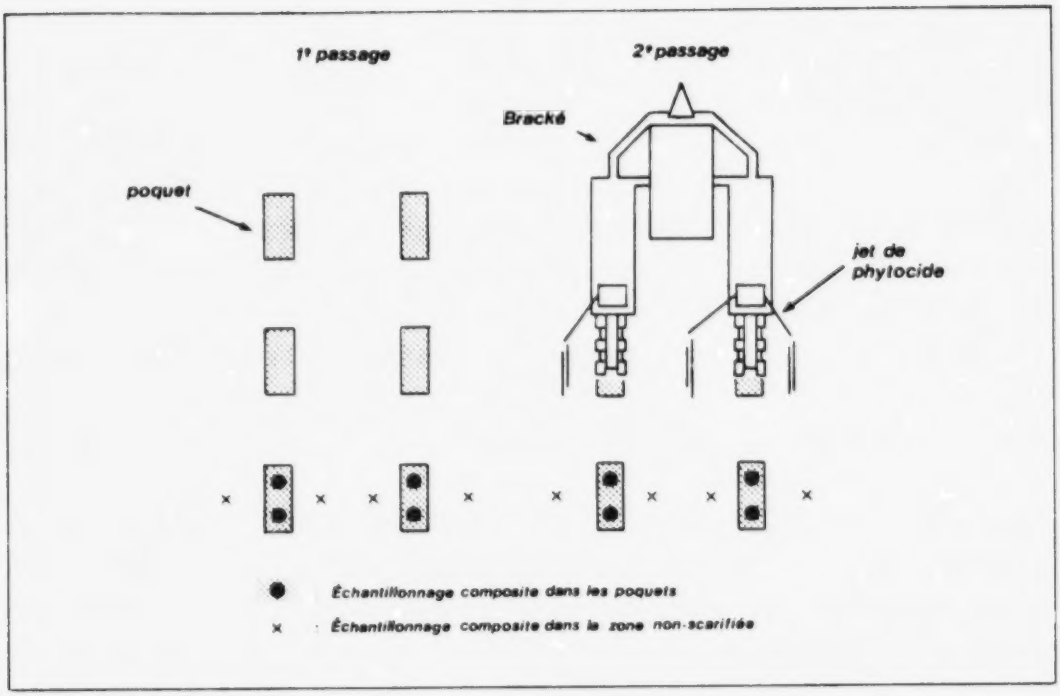

Figure 2 : Répartition des échantillons composites dans le sol forestier après deux passages du Bracke[MD].

3.2 Technique de prélèvement

Tous les récipients utilisés étaient préalablement rincés à l'acétone et à l'hexane en laboratoire. Une feuille d'aluminium était ensuite insérée entre l'ouverture et le couvercle du récipient afin d'éviter toute contamination. Les instruments utilisés devaient être nettoyés à l'eau distillée et à l'alcool éthylique avant leur utilisation.

L'échantillonneur devait se laver les mains à l'eau distillée et les essuyer avec un chiffon imbibé d'alcool avant chaque prise d'échantillon pour éviter toute contamination.

Tous les échantillons étaient immédiatement placés au frais (4°C) dans une glacière après leur prélèvement et acheminés en laboratoire dans les meilleurs délais. Les échantillons de sol et de sédiments étaient ensuite congelés jusqu'à leur analyse alors que les échantillons d'eau étaient conservés à 4°C.

3.2.1 Échantillonnage de l'eau

Des bouteilles Sovirel[MD] d'un litre furent utilisées pour la récolte des échantillons d'eau. En milieu lotique, l'échantillon était prélevé au centre du ruisseau, l'ouverture de la bouteille orientée vers l'amont du cours d'eau. Tous les échantillons d'eau ont été prélevés à une profondeur voisinant 10 centimètres. Le bouchon était retiré et replacé à cette même profondeur.

3.2.2 Échantillonnage des sédiments

Les sédiments ont été récoltés dans des pots Mason[MD] de 500 ml à l'aide d'une louche (recouverte de chrome) d'un diamètre de 92 mm et d'un volume de 100 ml. Deux prélèvements étaient effectués dans un même secteur de la mare pour chaque échantillon. L'échantillonneur ne devait pas "gratter" la couche superficielle de sédiments mais faire pénétrer la louche complètement de façon à remplir complètement celle-ci sans perturber la surface de la couche sédimentaire. Un bloc d'Etafoam[MD] recouvert d'une feuille d'aluminium était appuyé sur la louche lorsque celle-ci était retirée de l'eau afin d'éviter la perte des sédiments lors de la remontée. L'échantillon était prélevé à environ 30 cm de la rive.

3.2.3 Echantillonnage du sol forestier

Une sonde Oakfield[MD] en acier recouvert de chrome a été utilisée pour récolter les échantillons de sol. Elle est constituée d'un tube de 30 cm de long avec une ouverture sur le côté. Le diamètre des carottes récoltées est de 2 cm. Une tige de verre de 30 cm a été utilisée pour dégager le sol de la sonde et le déposer dans un pot Mason[MD] de 500 ml. Les fractions 0-10 cm et 10-20 cm d'une même carotte étaient récoltées dans des récipients distincts.

3.3 Technique d'analyse

3.3.1 Description de la technique d'analyse

L'analyse des résidus d'hexazinone dans l'eau, le sol et les sédiments a été réalisée par le laboratoire de chimie du Service des études environnementales du ministère de l'Énergie et des Ressources selon la méthode décrite par Mamarbachi et Carmichael (1987).

Dans l'eau

L'extraction de l'hexazinone est effectuée selon la méthode d'extraction du fénitrothion publiée par Morin et al. (1986). L'échantillon d'eau (1 litre) est transvasé dans une ampoule à décanter de 2 litres munie d'un robinet en teflon. On ajoute, à l'eau, environ 20 ml d'une solution saturée de sulfate de sodium ainsi que 150 ml de chloroforme. Le contenu est agité durant deux minutes puis laissé au repos jusqu'à la séparation des deux phases. On décante la phase organique dans un ballon de 500 ml et l'on répète l'extraction en utilisant 50 ml de chloroforme. L'extrait organique est ensuite asséché par filtration sous vide à travers 100 g de sulfate de sodium dans un buchner. Le produit d'extraction est concentré à environ 1 ml à l'aide d'un évaporateur rotatif dans un bain d'eau à 38°C. Pour effectuer le dosage par chromatographie en phase gazeuse, on remplace le chloroforme par le benzène en ajoutant une dizaine de ml de celui-ci à l'extrait de chloroforme et on concentre de nouveau à un volume de 5 ml.

Dans le sol et les sédiments

La méthode utilisée pour l'extraction de l'hexazinone dans le sol est la même que celle de l'aminocarbe décrite par Morin et al.(1983). Vingt grammes de sol et 20 ml d'acétone sont mis dans un erlenmeyer de 500 ml. Le contenu est agité durant 20 minutes à l'aide d'un agitateur mécanique du type "Wrist Action Shaker". On ajoute, par la suite, 40 ml de chloroforme et on agite de nouveau durant 20 minutes. Le produit d'extraction est décanté sur laine de verre et

recueilli dans un ballon de 500 ml. L'extraction est répétée deux fois successivement avec les mêmes quantités de solvant. L'extrait est concentré à sec puis il est dissous dans 4 ml d'acétone. Les extraits de sol sont purifiés selon la technique de Holt (1981) que l'on a modifiée afin d'accroître le rendement. Une aliquote de 2 ml de l'extrait est diluée dans 150 ml d'eau purifiée, à laquelle on ajoute environ 20 ml d'une solution saturée de sulfate de sodium. La solution aqueuse contenant le phytocide est lavée à l'hexane par 2 x 50 ml, puis extraite au chloroforme par 2 x 25 ml. L'extrait de chloroforme est ensuite asséché sur 100 g de sulfate de sodium puis concentré à sec et dissous dans 5 ml de benzène.

L'identification et le dosage sont effectués à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse, Hewlett Packard modèle 5710 A, équipé de deux détecteurs spécifiques à l'azote et au phosphore (NPD). Les colonnes utilisées sont en pyrex de 60 cm de long x 2mm (D.I.), imprégnées de 4% OV-101 + 6% OV-210 sur Gas Chrom Q (80-100 mailles) pour identification et de 3% OV-17 sur le même support pour confirmation. Les températures des différents compartiments sont les suivantes: injecteurs 250°C, four 200°C, détecteurs 300°C. Les débits de l'hélium, de l'air et de l'hydrogène sont fixés respectivement à 30, 70 et 3 ml/minute.

3.3.2 Validation de la technique d'analyse

Dans l'eau, cette méthode nous a permis d'obtenir une récupération moyenne de 97% avec un coefficient de variation de 2,8% (tableau 1). Cette moyenne provient de quatre essais effectués à des niveaux de concentration de 10 µg/l. La limite de détection était fixée à 1,00 µg/l (1 ppb).

Dans le sol, six essais ont été effectués en ajoutant 1 µg d'hexazinone à 1 g de sol. La récupération moyenne était de 85% avec un coefficient de variation de 7,0%. Le pourcentage de récupération est semblable pour un sol organique ou minéral. La limite de détection était de 0,010 µg/g (poids sec).

Tableau 1: Récupération de l'hexazinone dans l'eau et le sol

Substrat	Niveau de concentration	Nombre d'essais	Récupération moyenne	Écart	Coefficient de variation
Eau	10 µg/l	4	97%	94-100%	2,8%
Sol organique	1 µg/g	3	89%	85-95%	5,9%
Sol minéral	1 µg/g	3	81%	78-84%	3,9%

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Comportement de l'hexazinone dans l'eau en milieu lotique

Dans cette étude, la principale voie d'entrée du produit dans les cours d'eau est sans doute reliée au lessivage du produit dans le sol puisqu'il n'y a eu aucune application directe de produit. Les possibilités de dérive du produit dans l'air sont faibles sinon absentes compte tenu du mode de traitement et de la distance entre les travaux et les cours d'eau.

Généralement, les eaux de ruissellement peuvent acheminer le produit de deux façons: en solution après lessivage du sol et du feuillage et par le transport de particules de matière minérale ou organique auxquelles le produit est adsorbé. La largeur des bandes de protection et la distance par rapport aux zones traitées sont également des facteurs qui peuvent influencer la quantité de résidus de glyphosate retrouvée dans l'eau. Précisons que dans ce projet, une bande minimale de protection de 60 mètres a été respectée le long des cours d'eau à étiage permanent.

Le tableau 2 présente les concentrations résiduelles d'hexazinone qui ont été retrouvées dans les deux ruisseaux échantillonnés. Sur les 10 échantillons prélevés au ruisseau #1, aucun résultat ne révèle la présence d'hexazinone. La limite de détection était de 1,00 µg/l.

Diverses hypothèses peuvent expliquer ces résultats. Entre le 29 mai et le 4 juin, 17 ha avaient été traités. Par la suite, les problèmes techniques mentionnés précédemment ont causé l'arrêt des travaux entre les 5 et 9 juin dans ces secteurs. Les travaux ont été poursuivis sur trois hectares le 10 juin. La non détection du produit dans les échantillons prélevés du 11 au 13 juin est peut-être due à la trop faible superficie traitée. D'autre part, il se pourrait que les délais entre l'application du produit et la prise des échantillons aient influencé les résultats. Les résultats obtenus pourraient

Tableau 2 : Concentrations d'hexazinone (µg/l) dans l'eau en milieu lotique, 1986

Temps approximatif après traitement (jours)	Ruisseau #1		Ruisseau #2
	Station A	Station B	
0			ND
0,5	ND[a]	ND	
1	ND	ND	1,92
1,5	ND	ND	
2	ND	ND	15,2
3	ND	ND	7,75
4			5,76
5			4,37
6			4,04
10			4,23
11			3,90
12			2,90
17			3,54
18			3,39

[a] Non-détecté (< 1,00 µg/l)

tout aussi bien indiquer l'efficacité de la bande de protection. Cette dernière devait être de 60 mètres mais dans le cas de ce ruisseau, les blocs traités se trouvaient généralement à plus de 100 mètres du cours d'eau.

Le ruisseau #2 drainait environ 55 ha traités. Bien que des bandes de protection d'au moins 60 mètres aient été respectées, nous avons détecté des concentrations d'hexazinone en aval des superficies traitées. La figure 3 illustre les concentrations d'hexazinone retrouvées dans l'eau de ce ruisseau en fonction du temps et des précipitations enregistrées[1]. La valeur maximale de 15,2 µg/l est obtenue le 17 juin, 48 heures après la fin des traitements, à la suite d'une journée pluvieuse. Par après, la concentration d'hexazinone diminue graduellement jusqu'à environ 6 jours après le traitement pour ensuite se

[1] Précipitations enregistrées à la station météorologique Shannon située à environ 10 km du lieu des travaux.

stabiliser à des niveaux variant autour de 3 et 4 µg/l. Après 18 jours, on enregistrait une valeur de 3,39 µg/l. Ces résultats semblent indiquer que les pluies influencent la mobilité du produit dans le milieu. La solubilité de l'hexazinone dans l'eau favoriserait sa présence dans les cours d'eau et ce, même en respectant des bandes de protection de 60 m.

Les concentrations retrouvées sont toutefois bien en deça des exigences stipulées dans le règlement sur l'eau potable (Gouvernement du Québec, 1984). Ce dernier mentionne que la concentration totale de tous les pesticides présents dans l'eau ne doit pas dépasser 0,100 mg/L (100 µg/l).

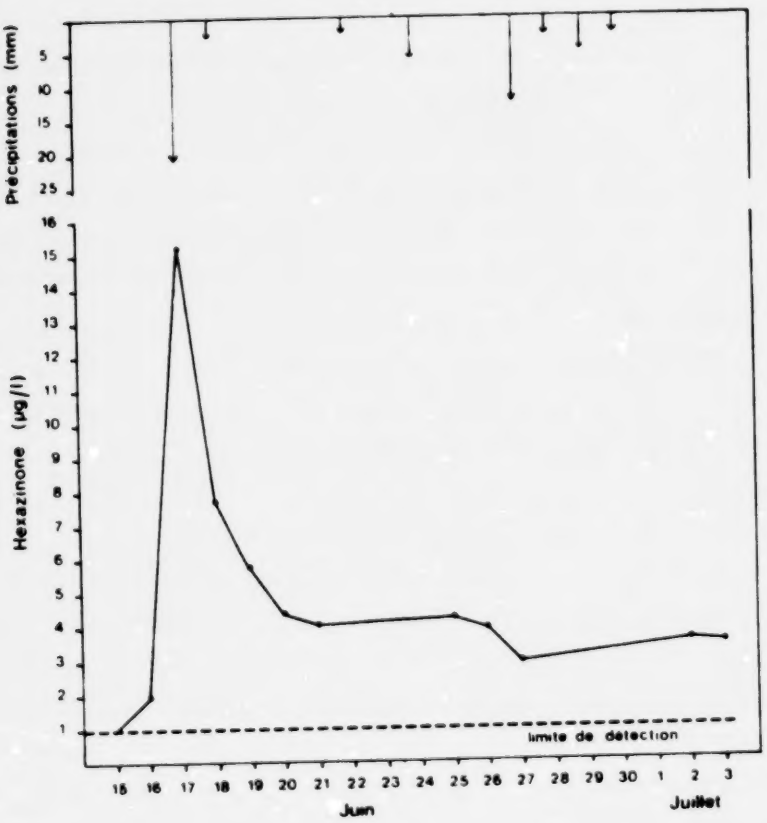

Figure 3. Concentrations d'hexazinone dans l'eau en milieu lotique (ruisseau #2), 1986

Ces résultats préliminaires nous amènent à formuler certaines recommandations pour un suivi environnemental plus complet si une utilisation soutenue de cette technique de préparation de terrain était envisagée en milieu forestier.

Un projet d'une trentaine d'hectares réalisé dans un laps de temps relativement court pourrait s'avérer adéquat pour permettre un échantillonnage représentatif du comportement des résidus dans l'eau de milieu lotique. Des stations positionnées à la périphérie des zones traitées (0 km) ainsi qu'à 0,5, 1,0 et 1,5 km devraient nous fournir suffisamment de données pour vérifier la mobilité du produit. En se basant sur les résultats provenant du ruisseau #2, le suivi pourrait être étalé sur une période assez longue pour retrouver à la fin de l'échantillonnage des concentrations de résidus non-détectables. Selon certaines informations que nous possédons sur le produit (U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1984; Ghassemi et al., 1981; Miller and Bace, 1980; Bouchard et al., 1985), la séquence d'échantillonnage suivante serait adéquate pour évaluer la persistance du produit en milieu lotique : Témoin (avant traitement), 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 jours puis 2, 4, 8 et 12 semaines. Après une pluie importante, un ou deux échantillons supplémentaires devraient être prélevés afin de vérifier l'apport de produit par les eaux de ruissellement. Dans un deuxième temps, il serait intéressant d'évaluer l'influence de la largeur des bandes de protection sur les quantités de résidus retrouvées en milieu lotique.

4.2 Comportement de l'hexazinone dans l'eau en milieu lentique

Le tableau 3 fournit les résultats obtenus en milieu lentique. Trois heures après le passage du Bracke^{MD} dans la mare, on obtient une concentration maximale de résidus d'hexazinone de 820 µg/l. Par la suite, la concentration diminue à 575 µg/l après 16 heures, soit 70% de la quantité maximale, et à 143 µg/l (17%) 25 heures après le traitement. La concentration résiduelle décroît à 54 µg/l (7%) 51 heures après le traitement. La remontée observée à 63 heures pourrait être attribuable aux précipitations enregistrées ce jour-là qui auraient pu lessiver le sol et le feuillage (figure 4). Une concentration

de 64,8 µg/l (8%) a été retrouvée dans le dernier échantillon d'eau prélevé dans la mare, 69 heures après le traitement.

Tableau 3: Concentrations d'hexazinone dans l'eau en milieu lentique, 1986

Temps après traitement (hres)	Hexazinone (µg/l)	(%)
T[a]	9,33	
3	820	(100)
16	575	(70)
25	143	(17)
39	152	(18)
51	54,0	(7)
63	145	(18)
69	64,8	(8)

[a] Échantillon témoin prélevé avant traitement.

L'échantillon témoin prélevé dans la mare révèle une concentration de 9,33 µg/l. Cette contamination initiale pourrait être due au traitement d'une superficie adjacente une semaine auparavant. Seul un chemin forestier séparait celle-ci de la mare étudiée.

Il est bon de se rappeler que la mare présentait un écoulement pouvant influencer le comportement du produit.

Lors d'études ultérieures, il est recommandé que la nappe d'eau soit stagnante afin de cerner le mieux possible le processus de disparition de ce produit en milieu lentique. Le site devrait être exempt de toute contamination initiale (témoin non contaminé). L'échantillonnage pourrait s'échelonner sur 3 mois selon la séquence suivante : T, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 jours, 2, 4, 8, 12 semaines. Pour les quatre premiers jours, deux échantillons par jour pourraient être prélevés, un au début et l'autre à la fin de la journée de travail. La réalisation de cette expérience à au moins deux sites différents devrait permettre d'obtenir des résultats plus indicatifs.

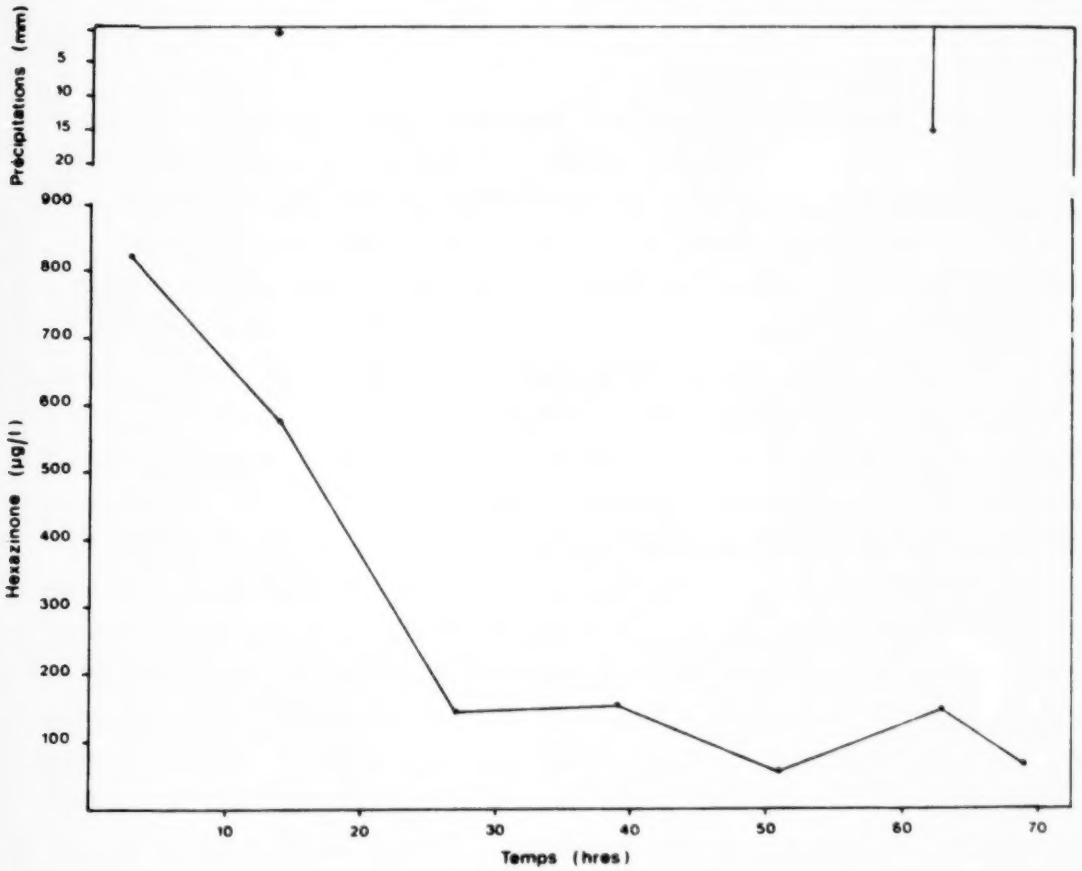

Figure 4. Concentrations d'hexazinone dans l'eau en milieu lentique, 1986.

4.3 Comportement de l'hexazinone dans les sédiments en milieu lentique

Dans le cadre de cette étude préliminaire, trois échantillons de sédiments ont été prélevés 69 heures, 8 et 21 semaines après le traitement de la mare où se sont faits les prélèvements d'eau. L'analyse des résultats, présentés en poids sec, démontre une accumulation des résidus d'hexazinone. Les résidus détectés sont de 0,045, 0,133 et 0,172 µg/g respectivement à 69 heures, 8 et 21 semaines après le traitement (tableau 4). En poids humide, l'échantillon de la 21ème

semaine s'avère un peu moins concentré que celui de la 8ième semaine mais cette différence peut être attribuable à l'importante quantité d'eau dans l'échantillon. Comme les résultats semblent démontrer une augmentation des résidus d'hexazinone dans les sédiments, il serait intéressant de poursuivre le suivi de cette mare en 1987.

Tableau 4: Résidus d'hexazinone dans les sédiments en milieu lentique, 1986

Temps après traitement	Poids humide (µg/g)	Poids sec (µg/g)	humidité (%)
69 hres	0,031	0,045	31
8 semaines	0,095	0,133	29
21 semaines	0,070	0,172	60

Une deuxième étude plus poussée serait nécessaire pour confirmer la persistance de ce phytocide dans les sédiments. La séquence d'échantillonnage recommandée serait : T, 1, 2, 4, 8, 12, 20, 52 semaines, 17 et 24 mois. La représentativité des échantillons ponctuels pourrait être vérifiée par des prélèvements dans des secteurs différents de la mare.

Une étude préliminaire des résidus d'hexazinone dans les sédiments de milieu lotique pourrait également être initiée. La séquence d'échantillonnage pourrait être la suivante : T, 1, 2, 4, 8, 12 semaines.

4.4 Comportement de l'hexazinone dans le sol

Le recours à un scarificateur de type Bracke^MD muni de buses permettant la pulvérisation de l'hexazinone crée deux zones après chaque passage : une zone scarifiée (poquets) non arrosée et une zone non-scarifiée arrosée. Ces deux zones ont été échantillonnées séparément à chacun des deux sites à l'étude (site A et B).

Des échantillons témoins prélevés au site A avant le traitement confirment l'absence du produit (limite de détection : < 0,01 µg/g). Les échantillons ont été analysés en poids frais puis transformés en poids sec à partir des pourcentages d'humidité. Les résultats sont discutés par rapport au poids sec.

4.4.1 Les zones non-scarifiées

Le tableau 5 fournit les résultats obtenus aux sites A et B dans les zones non-scarifiées. Au site A, pour la strate 0-10 cm, on retrouve une valeur maximale de résidus d'hexazinone de 4,66 µg/g, 1 jour après le traitement. La quantité des résidus diminue par la suite pour atteindre à 21 semaines la valeur de 0,082 µg/g, soit 1,8% de la valeur initiale. Pour la strate 10-20 cm, les résidus retrouvés sont moins importants et atteignent 1,14 µg/g à 8 semaines.

Tableau 5: Résidus d'hexazinone en µg/g (poids sec) dans les zones non-scarifiées, 1986

Temps après traitement	Strate 0-10 cm	Humidité %	Strate 10-20 cm	Humidité (%)
Site A				
Témoin	ND[a]	17	ND	21
1 jour	4,66	23	0,143	24
8 sem.	1,30	23	1,14	29
21 sem.	0,082	27	0,300	27
Site B				
1 jour	17,4	50	0,069	21
8 sem.	7,78	56	0,256	23
21 sem.	1,67	35	0,193	27

a Non-détecté (< 0,01 µg/g)

Au site B, pour la strate 0-10 cm, on observe une valeur maximale de 17,4 µg/g, 1 jour après le traitement. Les résidus diminuent par la suite pour atteindre à 21 semaines, 1,67 µg/g soit 10% de la valeur initiale. Dans la strate 10-20 cm, la quantité de résidus retrouvée après ce même laps de temps est d'environ 0,2 µg/g. Un maximum de 0,256 µg/g est également atteint à ce site, à la 8^{ième} semaine.

En comparant les résultats provenant de la strate 0-10 cm des zones non-scarifiées pour les sites A et B; on constate un niveau de résidus d'hexazinone beaucoup plus élevé au site B par rapport au site A. Certaines hypothèses peuvent expliquer cette différence. Tout d'abord notons que la distribution du produit sur la superficie n'est pas uniforme puisque l'application se fait par jet. De plus, comme le site A possédait moins de matière organique que le site B, ce dernier était susceptible de retenir plus de produit, l'hexazinone étant plus fortement absorbé à la matière organique (Corcoran (s.d.)). La figure 5 illustre bien la diminution des résidus dans la strate supérieure en fonction du temps.

Mentionnons qu'un échantillon prélevé un an après un traitement à l'hexazinone avec barillet dans le canton Dunière dans la région de la Gaspésie révélait une concentration de 0,220 µg/g dans la couche organique du sol. Ce résultat démontre donc la persistance que peut présenter ce produit.

La figure 5 illustre également le déplacement vertical du produit. Les valeurs initiales obtenues un jour après le traitement dans la strate 10-20 cm pourraient s'expliquer par l'infiltration de l'hexazinone suite à une pluie de 16,5 mm avant la prise de l'échantillon. Les résidus augmentent à la 8^{ième} semaine pour ensuite diminuer à la 21^{ième} semaine. Ce phénomène est bien perçu au site A. À ce site, on retrouve des résidus de 0,300 µg/g après 21 semaines alors qu'au site B, la valeur est de 0,193 µg/g. Au projet Dunière, mentionné précédemment, la fraction minérale contenait des résidus de 0,025 µg/g après un an.

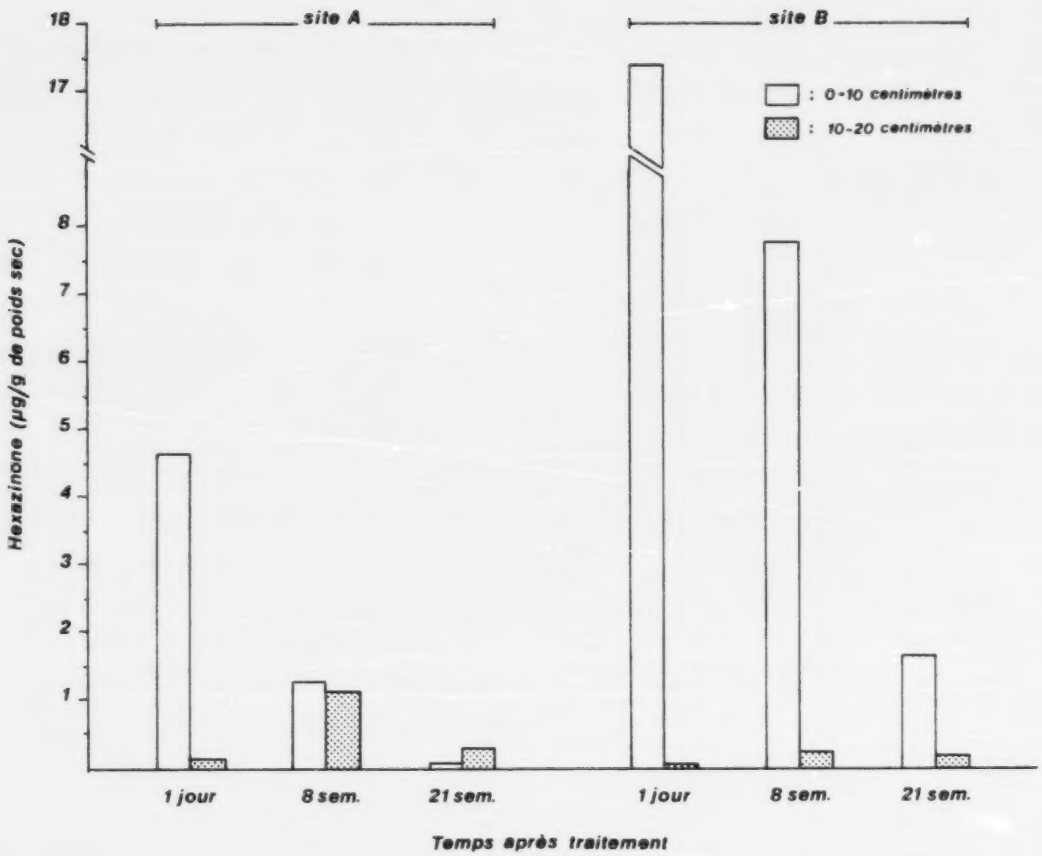

Figure 5 : Résidus d'hexazinone dans le sol forestier des zones non-scarifiées, 1986

4.4.2 Les zones à poquets

Le tableau 6 fournit les résultats obtenus aux sites A et B dans les zones à poquets (zones scarifiées).

Au site A, dans la strate 0-10 cm, on observe un maximum de résidus d'hexazinone de 0,972 µg/g, 8 semaines après le traitement. À 21 semaines, la quantité résiduelle diminue à 0,313 µg/g. Dans la strate 10-20 cm, on obtient la valeur maximale 21 semaines après le traitement soit 0,239 µg/g.

Au site B, pour la strate 0-10 cm, on observe un maximum de 0,671 µg/g, 1 jour après le traitement. Les résidus diminuent par la suite pour atteindre à 21 semaines 0,162 µg/g, soit 24% de la quantité initiale. Pour la strate 10-20 cm, les résidus ne sont détectés qu'à la 21ème semaine, à des niveaux de 0,041 µg/g.

Tableau 6: Résidus d'hexazinone en µg/g de poids sec dans les zones à poquets, 1986

Temps après traitement	Strate 0-10 cm	Humidité (%)	Strate 10-20 cm	Humidité (%)
Site A				
1 jour	0,296	28	ND[a]	28
8 sem.	0,972	25	0,205	26
21 sem.	0,313	31	0,239	26
Site B				
1 jour	0,671	27		
8 sem.	0,282	30	ND	21
21 sem.	0,162	34	0,041	22

[a] Non-détecté (< 0,01 µg/g)

Dans les zones à poquets, on remarquera que les concentrations de résidus retrouvées sont beaucoup plus faibles que dans les zones non-scarifiées. Cette différence est sans doute due au fait que les buses sont orientées vers les zones non-scarifiées et que le produit ne peut atteindre les poquets qu'à la suite du déplacement du produit dans le sol ou encore de la faible dérive lors de l'application du produit. La valeur maximale observée à ces deux sites est de 0,972 µg/g, soit 17 fois moins que le maximum retracé dans les zones non-scarifiées. Les résultats provenant du site A dans la strate supérieure (0-10cm) indiquent un maximum à la 8^{ième} semaine. Au site B, on remarque cependant une décroissance graduelle des résidus dans le temps.

La figure 6 illustre le déplacement vertical du produit dans le temps. Ce déplacement dans la couche 10-20 cm peut être principalement décelé à la 21^{ième} semaine.

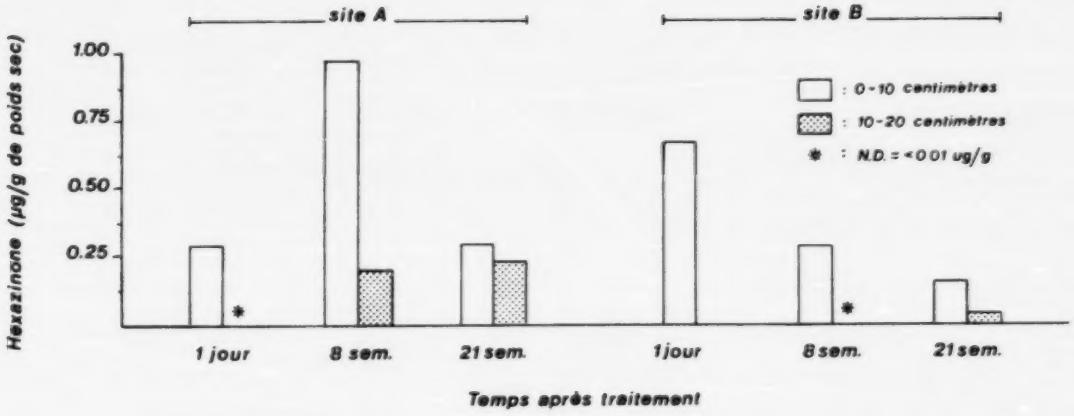

Figure 6. Résidus d'hexazinone dans le sol forestier dans les zones à poquets, 1986

Suite à ces résultats préliminaires, on constate donc une bonne variation entre la quantité des résidus des zones non-scarifiées et des zones à poquets. Ces résultats appuient dans une certaine mesure le choix de la méthode d'échantillonnage qui distingue ces deux zones. Rappelons que le mode d'application sous forme de jet ne permet pas de traiter uniformément une superficie et de ce fait, augmente la problématique d'un échantillonnage représentatif. L'usage d'échantillons composites s'avère donc essentiel et devra être maintenu lors de prochaines études.

Comme la quantité des résidus est plus élevée dans les zones non-scarifiées par rapport aux zones à poquets, il pourrait être plus avantageux de suivre à l'avenir, seulement les zones non-scarifiées tout en augmentant le nombre de sites échantillonnés. Cette modification permettrait une meilleure représentativité des secteurs les plus contaminés.

La séquence d'échantillonnage devra, cependant, être plus complète afin de mieux cerner le déplacement vertical des résidus et la persistance à long terme. La séquence suivante pourrait s'avérer intéressante, compte tenu de la persistance déjà notée au projet Dunière : témoin, 2, 4, 8, 12, 20, 52 semaines, 17 et 24 mois. Cette séquence pourra être effectuée dans différents types de sol afin d'évaluer l'influence de la texture du sol sur la mobilité du produit. De plus, il serait intéressant de vérifier la présence et le comportement de l'hexazinone à de plus grandes profondeurs.

4.5 Synthèse des recommandations pour les échantillonnages ultérieurs

Le tableau 7 regroupe les principales recommandations applicables lors d'études ultérieures des résidus d'hexazinone dans l'environnement suite à des travaux de préparation de terrains à l'aide de scarificateurs de type Bracke^{MD} combinés à un arrosage simultané de Velpar L^{MD}.

Quelques modifications mineures pourront être apportées à ces recommandations si une autre technique d'application de l'hexazinone était envisagée.

Tableau 7: Synthèse des recommandations pour les échantillonnages ultérieurs

Milieux ou Substrats		Séquences d'échantillonnage	Nombre de stations	Remarques
Lotique	Eau	T[a], 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 jours, 2, 4, 8, 12 semaines	0 km, 0,5 km, 1 km, 1,5 km des zones traitées	- bassin de drainage traité > 30 ha - bande de protection de 60 m. - étude sur l'influence de la largeur de la bande de protection
	Sédiments	T, 1, 2, 4, 8, 12 semaines	0 km et 0,1 km	
Lentique	Eau	T, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96 heures, 5, 6, 7 jours, 2, 4, 8, 12 semaines	2 sites	- mare stagnante
	Sédiments	T, 1, 2, 4, 8, 12, 20, 52 semaines, 17, 24 mois	2 sites	- vérifier la représentativité des échantillons ponctuels
Sol		T, 1, 2, 4, 8, 12, 20, 52 semaines, 17, 24 mois, printemps-automne	0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm dans différents types de sol	- zones non-scarifiées seulement (8 prélèvements/échantillon composite) - analyse granulométrique de chaque strate

[a]Témoin prélevé avant traitement

CONCLUSION

Les résultats observés lors de cette étude préliminaire semblent démontrer que l'hexazinone soit un produit mobile et que celui-ci peut se retrouver dans les cours d'eau même en respectant une bande de protection de 60 mètres. En effet, une concentration maximale de 15,2 µg/l a été retrouvée 48 heures après traitement dans l'un des deux ruisseaux échantillonnés. Des résidus ont été décelés dans ce ruisseau jusqu'à deux semaines après la fin des travaux. Mentionnons toutefois qu'aucun résidu n'a été détecté dans le second ruisseau échantillonné.

Dans le sol forestier, des résidus maxima de 17,4 µg/g (poids sec) ont été détectés dans la strate 0-10 cm, une journée après le traitement. On remarque également un déplacement du produit de la strate 0-10 cm vers la strate 10-20 cm.

Dans les sédiments d'un milieu lentique directement traité, trois échantillons prélevés jusqu'à 21 semaines après traitement démontraient une augmentation des résidus en fonction du temps.

Des études supplémentaires sont toutefois nécessaires afin de confirmer et de préciser les niveaux de persistance et d'accumulation de ce produit.

BIBLIOGRAPHIE

BOUCHARD, D.C., T.L. LAVY and E.R. LAWSON, 1985. Mobility and persistence of hexazinone in a forest watershed. J. Environ. Qual., 14 (2) : 229-233.

CORCORAN, J., (s.d.). Applications locales concentrées d'herbicide Velpar L[MD]; espacement et quantité. Dans Bulletin Forestier, Du Pont Canada, (s.l.n.d.).

GHASSEMI, M. and al., 1981. Environmental fates and impacts of major forest use pesticides. U.S. Environmental Protection Agency, Office of pesticides and toxic substances, Washington D.C., pp. A,169-A,192.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 1984. Loi sur la qualité de l'environnement. Règlement sur l'eau potable. Gazette Officielle du Québec, 30 mai 1984, 116e année, no 23, pp. 2123-2129.

HOLT, F.R., 1981. Determination of hexazinone and metabolite residues using nitrogen-selective gas chromatography. J. Agric. Food Chem. 29(1): 165-172.

MAMARBACHI, G. et M. CARMICHAEL, 1987. Méthode d'analyse de l'hexazinone dans l'eau et le sol. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, (en préparation).

MILLER, J.H. and A.C. BACE, 1980. Streamwater contamination after aerial application of a pelletized herbicide. U.S. Department Agriculture Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Research note SO-255, 4 p.

MORIN, R., G. GABOURY, G. MAMARBACHI et R. DOSTIE, 1983. Surveillance des pulvérisations aériennes d'insecticides contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Québec en 1981: Résidus de fénitrothion et d'aminocarbe dans l'environnement. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Energie et des Ressources, Service d'entomologie et de pathologie, 70 p.

MORIN, R., G. GABOURY and G. MAMARBACHI, 1986. Fenitrothion and aminocarb residues in water and balsam fir foliage following spruce budworm spraying programs in Quebec, 1979 to 1982. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 36: 622-628.

U.S. DEPARTMENT AGRICULTURE FOREST SERVICE, 1984. Pesticide background statement : hexazinone. in : Pesticide background statements : volume 1. Herbicides, Agriculture handbook no 633, pp. H1-H86.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Service des études environnementales